

ADSORPTION OF Th-232 AND U-238 BY γ - Al_2O_3 -HUMATE AT SINGLE AND COMPETITIVE SYSTEMS

Adsorpsi Th-232 dan U-238 oleh γ - Al_2O_3 -Humat pada Sistem Tunggal dan Kompetitif

Muzakky^{1,*} and Sri Juari Santosa²

¹ National Nuclear Energy Agency, Jl. Babarsari Kotakpos 1008ykbk Yogyakarta, Indonesia 55010

² Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Gadjah Mada University, Sekip Utara Yogyakarta, Indonesia 55281

Received 29 January 2008; Accepted 12 May 2008

ABSTRACT

The calculation experiments of adsorption capacities of Th-232 and U-238 in γ - Al_2O_3 -humate at single system and competitive with Freundlich method has been done. The purpose of the research is (1) to characterize γ - Al_2O_3 -humat functional groups, (2) to know γ - Al_2O_3 -humat solubility and (3) to predict adsorption capacities of U-238 and of Th-232 at adsorbent γ - Al_2O_3 -humate. The characterisation of functional groups γ - Al_2O_3 -humate is done by Fourier Transform Infra red (FTIR) Spectrometry. Based on perception results of functional spectra characteristic of γ - Al_2O_3 -humate is similar with humic substance with decrease at stretching $-\text{OH}$ at $3400 - 3300 \text{ cm}^{-1}$, and $\text{C}=\text{O}$ stretching of COOH spectra, $\text{C}=\text{C}$ aromatic or hydrogen bond of $\text{C}=\text{O}$ at $1725-1720 \text{ cm}^{-1}$ spectra. The solubility testing of γ - Al_2O_3 -humate indicated that the compound it's effective used as adsorption U-238 and of Th-232 at pH 1 to 4 conditions. At single adsorption system with 1000 mg/L of U-238 or Th-232 feed, 0.001 g up to 0.1 g weight of γ - Al_2O_3 -humate were got for U-238 balanced to 992.15 mg/L and 980.66 mg/L for Th-232. By using regression line curve between $\ln C$ and $\ln x/m$, adsorption capacities of U-238 and Th-232 at single system can be calculated as 3.63 mg / g and 2.93 mg / g, respectively, while adsorption capacity of Th-232 was increases to 8.08 mg/g and U-238 decreases to 0.91 mg/g at competitive system.

Keywords: U-238, Th-232, adsorption Freundlich, Spectrometry Fourier Transform Infra Red

PENDAHULUAN

Terjadinya kebocoran radionuklida ke dalam lingkungan dari test senjata nuklir atau instalasi pabrikan bakar bahan nuklir merupakan masalah yang serius bagi lingkungan. Hal ini terjadi akibat dari sejumlah radionuklida yang terlepas ke dalam tanah akan berdampak pada siklus akhir yang mendorong ke arah pencemaran radio-toxikitas lahan lingkungan [1,2]. Radionuklida Th-232 yang berumur paro $1,41 \cdot 10^{10}$ tahun, mempunyai pemancar radiasi tipe α dan γ akan berdampak pada metabolisme manusia dan mengendap dalam ginjal dan tulang. Radionuklida Th-232 tersebut dengan konsentrasi 1 μCi saja dapat tinggal di dalam tulang manusia hingga 50 tahun, yang dapat terlepas dari pabrikan bahan bakar, test senjata nuklir dan kecelakaan reaktor inti [2,3], sedangkan U-238 yang berumur paro $4,5 \cdot 10^9$ tahun, memancarkan radiasi tipe α dan γ dengan energi masing-masing pada 4,2 MeV dan 0,048 MeV, bila masuk ke dalam tubuh manusia akan ikut dalam peredaran darah dan mengendap pada ginjal. Kedua radionuklida ini dapat terlepas dari instalasi pengolahan bahan bakar nuklir [1-3]. Oleh karena itu dalam rangka mencegah efek yang kemungkinan akan terjadi dan gangguan pada ekosistem manusia, maka proses pengambilan kembali secara adsorpsi menggunakan adsorben terhadap radionuklida Cs-137

dan U-238 dari limbah cair yang kemungkinan mencemari ke dalam lingkungan [1,4].

Pada penelitian ini akan dicoba menggunakan adsorben γ - Al_2O_3 -humat, yang akan menghasilkan senyawa kompleks oksida Al-humat. Adsorben γ - Al_2O_3 -humat ini dipilih untuk memperbaiki kekurangan sifat dari senyawa humat yang mudah larut pada pH 1-4 dan rendah kapasitasnya [5]. Pada keadaan ini senyawa humat akan cenderung membentuk garam humat yang bersifat larut sehingga efektivitas adsorpsinya menjadi berkurang [5]. Kekurangan ini diatasi dengan mengembangkan proses impregnasi senyawa humat pada suatu material pendukung yang bersifat sukar larut pada berbagai rentang pH yang luas. Proses impregnasi senyawa humat pada material pendukung seperti γ - Al_2O_3 tersebut akan memungkinkan daya efektivitas adsorpsinya yang tidak berkurang pada rentang pH 1-5 [5]. Berdasarkan penelitian terdahulu [6] dengan cara proses bath didapat bahwa kapasitas U-238 dan Th-232 asam dalam hasil isolasi tanah gambut Kalimantan Tengah masing-masing didapat 0,44 mg/g dan 0,231 mg/g. Dilaporkan oleh Tombacz [5], bahwa kapasitas adsorpsi senyawa humat setelah di impregnasikan ke dalam γ - Al_2O_3 mempunyai kapasitas adsorpsi untuk logam Cu yang tidak signifikan bila dibandingkan sebelum di impregnasikan pada kondisi pH 5-6. Berdasarkan

* Corresponding author. Tel: 062-274-488435
Email address : muzakky@yahoo.com

penelitian terdahulu [6] dengan cara proses *batch* didapat bahwa kapasitas U-238 dan Th-232 asam dalam hasil isolasi tanah gambut Kalimantan Tengah masing-masing didapat 0,44 mg/g dan 0,231 mg/g, maka pada naskah ini disajikan uraian karakterisasi kelarutan γ - Al_2O_3 -humat proses adsorpsi logam U-238 dan Th-232 pada adsorben hasil impregnasi senyawa humat pada impregnan γ - Al_2O_3 yaitu γ - Al_2O_3 -humat, serta hasil perbandingan kapasitas adsorpsi logam U-238 dan Th-232 pada keadaan tunggal dan kompetitif.

Kapasitas adsorpsi ditentukan pada suasana isotherm dan dilakukan pada kondisi pH, kuat ion dan temperatur yang konstan. Menurut Cincero [7] secara sederhana kapasitas adsorpsi dapat dilakukan menggunakan model Freundlich, yang biasanya ditulis sebagai berikut,

$$\frac{X}{M} = k[C]^{1/n} \quad (1)$$

$$\ln \frac{X}{M} = \ln k + \frac{1}{n} \ln(C) \quad (2)$$

Notasi X merupakan konsentrasi logam (mg/l) yang teradsorpsi kedalam adsorben M (mg), [C] konsentrasi logam yang tinggal dalam larutan setelah kesetimbangan, sedangkan k dan n merupakan konstanta Freundlich. Hubungan antara $\ln(X/M)$ dengan $\ln(C)$ pada persamaan (2) akan linier, sehingga kapasitas adsorpsi dapat dihitung melalui substitusi $[C]_{maks}$ (saat kesetimbangan) pada kurva linier antara $\ln(X/M)$ dan $\ln(C)$

METODE PENELITIAN

Bahan

Asam humat (koloid lignit), γ - Al_2O_3 , HCl dan HNO_3 pekat, NaNO_3 dan NaOH $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ masing-masing buatan Merck.

Alat

Seperangkat alat spektrometer γ yang dilengkapi detektor NaI(Tl), beserta MCA buatan EG dan G ORTEG 700 buatan Canberra, seperangkat alat penyaring vakum yang dilengkapi kertas saring Whatman 40, seperangkat alat spektrometri infra merah (FTIR) dan spektrofotometer UV-Vis buatan Shimadzu, pengaduk magnet dan wadah polietilen kapasitas 50 mL.

Prosedur Kerja

Pembuatan adsorben γ - Al_2O_3 -humat

Ke dalam wadah polietilen kapasitas 50 mL dimasukan sedemikian rupa sehingga pada volume akhir 30 mL di dalamnya mengandung NaOH 0,1 M, NaNO_3 1 M dan asam humat sebanyak 3 mg/L, selanjutnya dimasukan pelan-pelan padatan γ - Al_2O_3 sebanyak 10 mg. Kemudian diaduk perlahan-lahan

diasas pengaduk magnet selama satu jam dan didiamkan semalam. Endapan yang terjadi disaring dan filtrat kemudian dikeringkan diatas oven pada suhu 80 °C. Hasil saringan dilakukan karakterisasi gugus fungsionalnya dengan alat spektrometri inframerah (FTIR), sekaligus dibandingkan dengan standar asam humat (lignit).

Uji kelarutan

Sebanyak 20 mg γ - Al_2O_3 -humat masing-masing di masukan ke dalam 6 buah gelas beker kapasitas 25 mL dan ditambahkan kedalamnya 10 ml akuades. Masing-masing gelas beker diatur pH nya menjadi 2, 3, 4, 6, 10 dan 12 dengan cara menambahkan NaOH 0,01 M NaOH . Masing-masing beker diaduk di atas pengaduk magnet selama 1 jam, didiamkan semalam dan disaring dengan alat penyaring vakum yang dilengkapi kertas saring Whatman 40. Hasil saringan dikeringkan di atas oven pada suhu ± 105 °C.

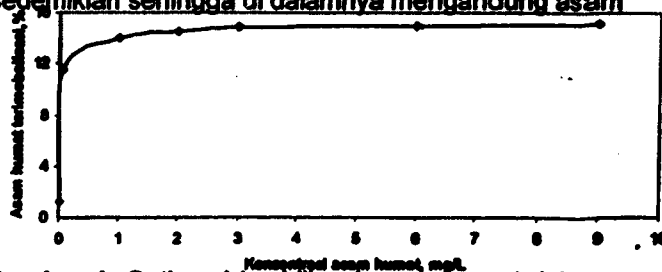
Adsorpsi U-238 dan Th-232 kedalam γ - Al_2O_3 -humat

Ke dalam beberapa buah wadah poliethilen kapasitas 50 mL dimasukan γ - Al_2O_3 -humat dengan variasi berat $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-1}$ dan 1 g lalu dimasukan masing-masing ke dalamnya 2 mL larutan HNO_3 0,0001 M dan larutan NaNO_3 0,1 M sebanyak 0,8 mL. Masing-masing campuran ditambahkan akuades sebanyak 13,2 mL larutan U-238 dengan konsentrasi 1000 ppm sebanyak 4 mL, sebelum wadah ditutup rapat pH di atur 4. Masing-masing campuran dikocok selama satu jam dan didiamkan semalam. Selanjutnya masing-masing filtratnya dipisahkan dengan kertas saring Whatman 40 dan selanjutnya dicacah dengan spektrofotometer- γ . Pekerjaan dan cara yang sama dilakukan untuk Th-232 dan campuran larutan U-238 dan Th-232 dengan konsentrasi masing-masing 1000 ppm.

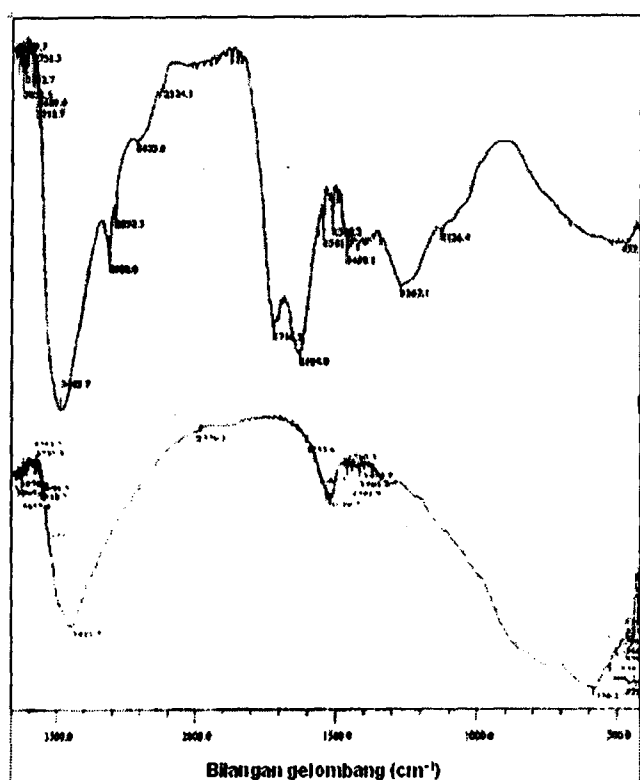
HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi Imobilisasi Asam Humat dalam γ - Al_2O_3

Optimasi imobilisasi asam humat ke dalam γ - Al_2O_3 dilakukan dengan cara, ke dalam beberapa gelas beker yang masing-masing telah mengandung 10 mg γ - Al_2O_3 , dan dimasukan sejumlah volume tertentu sedemikian sehingga di dalamnya mengandung asam



Gambar 1. Optimasi imobilisasi asam humat dalam γ - Al_2O_3



Gambar 2. Spektrum infra merah (a) asam humat dan (b) γ - Al_2O_3 -humat

humat dengan konsentrasi yang berbeda-beda dari 0,025 mg/L hingga 9 mg/L (prosedur 1). Setelah tahap akhir proses pengeringan selesai, filtrat hasil imobilisasi diukur konsentrasinya asam humat dengan alat spektrofotometer UV-Vis pada λ 220 nm. Selanjutnya hasil % asam humat yang terimobilisasi dapat diperlihatkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 diketahui bahwa imobilisasi asam humat optimum dipilih pada konsentrasi 3 mg/L, karena pada konsentrasi yang lebih tinggi, % kenaikan asam humat yang terimobilisasi kedalam γ - Al_2O_3 tidak nyata. Selanjutnya hasil optimasi ini dipakai untuk pembuatan γ - Al_2O_3 -humat.

Karakterisasi γ - Al_2O_3 -Humat

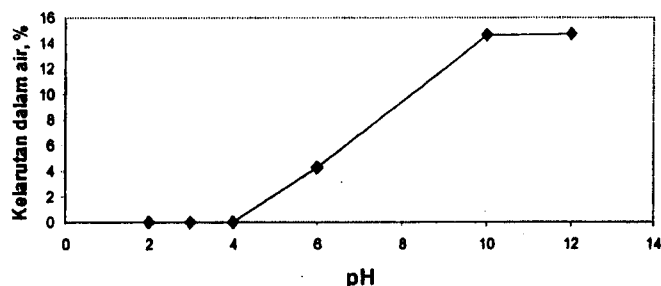
Dari data spektrum FTIR untuk asam humat (Gambar 2(a)), ternyata mengindikasikan terdapatnya beberapa gugus fungsional senyawa kimia yang dapat berinteraksi dengan zat lain seperti logam. Gugus-gugus fungsional tersebut terletak pada serapan 3402,2 cm^{-1} yang tajam dan melebar yang menunjukkan terdapatnya gugus -OH asam karboksilat, yang disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen antar gugus fungsi yang mengandung -OH. Selanjutnya pada Gambar 2(a), tersebut pita khas rentang (stretch) -OH pada 3400-3300 cm^{-1} , rentang C=O dari gugus COOH, aromatik C=C, atau ikatan hidrogen C=O pada pita 1725-

1720 cm^{-1} dan diperkuat oleh pita 1650 - 1630 cm^{-1} serta munculnya pita di daerah 1280-1230 cm^{-1} tepatnya 1267,1 cm^{-1} yang merupakan rentang C-O dari rantai aromatik, atau C-O ikatan ester dan hidroksi phenolik C-OH, yang semuanya itu merupakan ciri khas pola FTIR asam humat [8]. Selanjutnya pada 2922,0 cm^{-1} merupakan ciri khas gugus alkena, 2852,5 cm^{-1} merupakan ikatan -CH₂- (metilen), 2324,1 cm^{-1} gugus carbon rangkap tiga dari alkuna dan 1624,0 cm^{-1} merupakan gugus -C=C- aromatik. Berdasarkan gugus-gugus fungsional spektra inframerah tersebut dapat dikatakan bahwa asam humat merupakan senyawa poliasam karboksilat, polifenol, polieter, polialkuna, dan polialkena. Gugus-gugus fungsi ini menyebabkan asam humat dapat berperan sebagai ligan multidentat yang akan berikatan dengan logam.

Dari hasil spektrum untuk kompleks γ - Al_2O_3 -humat (Gambar 2(b)) didapat bahwa ligan pada asam humat yang terikat secara koordinasi oleh atom pusat aluminium masih memiliki sisa gugus-gugus fungsi yang tidak bereaksi selama proses kompleksasi dengan aluminium. Gejala ini terlihat pada serapan 3421,5 cm^{-1} dari gugus -OH alkohol bebas yang tajam (tidak melebar), puncak ini terjadi oleh karena terjadinya ikatan koordinasi antara aluminium sebagai atom pusat dengan atom oksigen pada gugus karbonil asam karboksilat. Fenomena ini diperkuat pada serapan 1560,3 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus karbonil (-C=O) dengan intensitas yang turun bila dibandingkan dengan serapan karbonil pada asam humat (Gambar 2(a)). Penurunan intensitas karbonil tersebut berarti adanya ikatan koordinasi dengan aluminium [10].

Pengikatan atom donor oksigen oleh aluminium secara koordinasi terjadi juga pada gugus alkohol atau fenolik bebas, fenomena ini dapat dilihat dengan tidak terdapatnya bilangan gelombang sekitar 3250 cm^{-1} , hal ini berarti kompleks γ - Al_2O_3 -humat tidak memiliki gugus alkohol atau fenol bebas, kecuali gugus alkohol dari residu gugus asam karboksilat. Kompleksasi dengan aluminium pada gugus alkena juga terjadi pada serapan pada kisaran 2345,3 cm^{-1} - 3255,6 cm^{-1} , dan intensitas serapan pada daerah ini terjadi penurunan dibandingkan dengan spektrum asam humat yang terdapat pada gambar 2(a).

Pada Gambar 2(b), tampak beberapa gugus fungsi lain yang mengalami pergeseran bilangan panjang gelombang dan penurunan intensitas seperti 1490,0 cm^{-1} yaitu -CH₂- metilen serta serapan pada 1629,7 cm^{-1} merupakan vibrasi *bending* dari OH dan 1508,2 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi dari -C=C- aromatik sebagai ciri gugus fungsional senyawa humat seperti -COOH, phenolik, enolik, dan alkohol OH dan =C=O yang menurun intensitasnya. Berdasarkan penurunan gugus-gugus fungsi tersebut berarti kompleks γ - Al_2O_3 -humat dapat terbukti terbentuk [4,9,10].

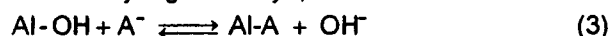


Gambar 3. Hubungan antara pH dengan % kelarutan kompleks γ - Al_2O_3 -humat dalam air

Kelarutan γ - Al_2O_3 -Humat

Pada gambar 3, telah diuji kestabilan kelarutan γ - Al_2O_3 -humat dalam air dengan berbagai kondisi pH. Ternyata γ - Al_2O_3 -humat pada pH antara 1 hingga 4 menunjukkan bahwa % kelarutan sangat kecil, sehingga bersifat stabil dan tidak larut dalam air. Semakin naik pH air % kelarutan γ - Al_2O_3 -humat akan semakin naik, hal ini dapat dilihat pada kondisi pH 6, % kelarutan γ - Al_2O_3 -humat naik menjadi 4,51% dan puncak kelarutan pada kondisi pH 10 dengan % kelarutan mencapai 15,0% kemudian konstan pada pH 12. Berdasarkan Gambar 3, dapat diperkirakan bahwa semakin besar pH stabilitas γ - Al_2O_3 -humat akan semakin berkurang didalam air.

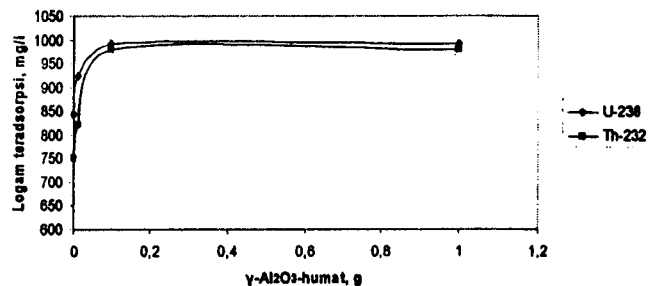
Menurut Tombacz [5], fenomena ini disebabkan adanya reaksi penggantian ligan humat dengan ion hidroksida sehingga produk reaksinya bersifat larut dalam air yang reaksinya,



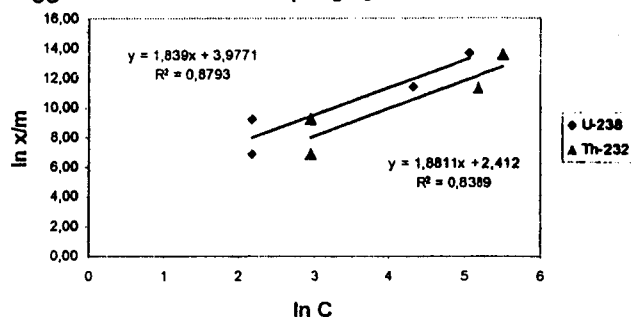
Notasi Al-OH dan A^- merupakan gugus aktif γ - Al_2O_3 dan asam humat, sedangkan Al-A dan OH^- masing-masing kompleks γ - Al_2O_3 -humat serta ion hidroksida. Reaksi (3), pada suasana pH kurang dari 4 akan bergeser kearah kanan dan Al-A sukar larut dalam air dan reaksi kembali bergeser ke kiri pada pH lebih besar 4. Pada suasana pH > 4 tersebut akan terjadi efek protolitik dari ion hidroksida akan semakin dominan sehingga γ - Al_2O_3 -humat cenderung larut kedalam air, selanjutnya akan dilanjutkan dengan reaksi,



Pada reaksi (4) terjadi setelah reaksi (3) bergeser ke kiri, dan selanjutnya setelah ion hidroksida habis terkonsumsi oleh Al-OH akan terbentuk senyawa bermuatan negatif dari Al-O^- . Dengan terbentuknya muatan negatif, akibatnya senyawa Al-O^- tidak bereaksi lagi dengan asam humat. Hal ini tampak pada Gambar 3 bahwa kelarutan γ - Al_2O_3 -humat pada pH tersebut naik mulai pH 5 dan akan konstan pada pH 10. Dari percobaan ini dapat diketahui bahwa γ - Al_2O_3 -humat hanya efektif digunakan sebagai adsorben logam U-238 dan Th-232 pada daerah kondisi pH 1 hingga 4.



Gambar 4. Adsorpsi logam U-238 dan Th-232 sistem tunggal dalam adsorben γ - Al_2O_3 -humat



Gambar 5. Grafik $\ln C$ lawan $\ln x/m$ untuk U-238 dan Th-232 pada sistem tunggal

Adsorpsi Sistem Tunggal U-238 dan Th-232 dalam γ - Al_2O_3 -Humat

Adsorpsi sistem tunggal logam U-238 dan Th-232 sebagai fungsi berat adsorben γ - Al_2O_3 -humat dapat diperlihatkan pada Gambar 4. Data Gambar 4 dapat ditunjukkan bahwa semakin besar kenaikan berat adsorben γ - Al_2O_3 -humat, maka semakin besar pula konsentrasi U-238 dan Th-232 yang teradsorpsi dan kenaikan terbesar dimulai pada berat adsorben 0,001 g sampai dengan 0,1 g. Selanjutnya pada masa kisaran adsorben di atas 0,1 g jumlah logam U-238 dan Th-232 yang teradsorpsi tidak bertambah atau sistem tersebut telah mengalami kesetimbangan.

Pada Gambar 4, terlihat bahwa pola adsorpsi U-238 lebih besar dari pada Th-232, maka dapat diprediksi awal bahwa kemungkinan kapasitas adsorpsi U-238 dalam adsorben γ - Al_2O_3 -humat dalam sistem tunggal akan lebih tinggi dari pada Th-232, untuk mendukung data pada Gambar 4 dan pernyataan tersebut dapat kita buat persamaan garis antara $\ln C$ lawan $\ln x/m$ yang terdapat pada data Gambar 5 dengan persamaan isoterm Freundlich (persamaan 2).

Pada Gambar 5, dapat diperlihatkan bahwa harga koefisien determinasi (R^2) logam U-238 dari hasil kurva antara $\ln C$ lawan $\ln x/m$ ternyata lebih tinggi dari logam Th-232, masing-masing yaitu 0,8793 dan 0,8389. Akibatnya kenaikan \ln konsentrasi U-238 akan mengakibatkan kenaikan \ln konsentrasi U-238 dalam adsorben γ - Al_2O_3 -humat dari berat 0,001 g hingga 1,0 g (Gambar 5). Pola kurva antara $\ln C$ lawan $\ln x/m$

pada Gambar 5 tersebut memperkuat pernyataan bahwa kapasitas adsorpsi U-238 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ akan lebih tinggi dalam sistem tunggal lebih tinggi dari pada Th-232. Selanjutnya melalui masing-masing persamaan garis lurus pada Gambar 5 ($y = 1,839x + 3,9771$ untuk U-238 dan $y = 1,8811x + 2,412$ untuk Th-232) dapat kita substitusikan konsentrasi pada saat kesetimbangan (Gambar 4), maka dapat kita peroleh harga masing-masing kapasitas adsorpsi U-238 dan Th-232 dalam sistem tunggal pada adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ adalah 3,63 mg/g dan 2,93 mg/g.

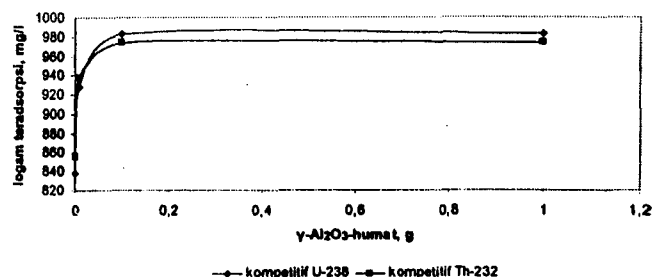
Warwick [9], menyatakan harga konstanta kestabilan kompleks logam terhadap senyawa humat dengan sistem pergantian proton tipe A (pK_{MHA}) didapat harga 1,3 untuk UO_2 dan 0,6 untuk logam Th. Jadi jelas bahwa kapasitas adsorpsi U-238 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ akan lebih tinggi dari pada Th-232 dalam sistem tunggal.

Adsorpsi Sistem Kompetitif U-238 dan Th-232 dalam $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Humat}$

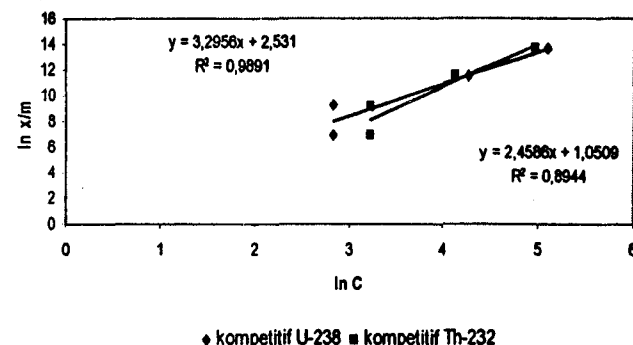
Umpan sekaligus mengandung U-238 dan Th-232 masing-masing 1000 ppm dan di adsorpsi ke dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$, maka pola adsorpsi secara sistem kompetitif dapat dilihat pada Gambar 6.

Data pada Gambar 6 tersebut dapat menunjukkan bahwa semakin besar kenaikan berat adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$, maka semakin besar pula konsentrasi U-238 dan Th-232 yang teradsorpsi dan kenaikan terbesar dimulai pada berat adsorben 0,001 g sampai dengan 0,1 g. Selanjutnya pada masa kisaran adsorben di atas 0,1 g jumlah logam U-238 dan Th-232 yang teradsorpsi tidak bertambah atau sistem tersebut telah mengalami kesetimbangan. Guna melihat bagaimana perubahan kapasitas adsorpsi pada sistem kompetitif dapat dibuat persamaan garis dengan variabel $\ln C$ lawan $\ln x/m$ yang terdapat pada persamaan isoterm Freundlich pada persamaan 2.

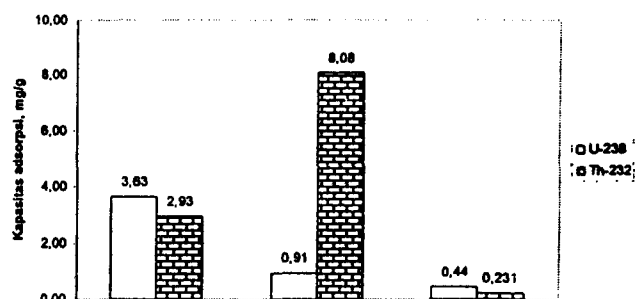
Pada Gambar 7, dapat diperlihatkan bahwa harga koefisien determinasi (R^2) logam dari Th-232 hasil kurva antara $\ln C$ lawan $\ln x/m$ ternyata lebih tinggi dari logam U-238, yaitu 0,9891 dan 0,8944. Akibatnya kenaikan \ln konsentrasi Th-232 atau U-238 akan mengakibatkan kenaikan \ln konsentrasi Th-232 atau U-238 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ dari berat 0,001 g hingga 1,0 g (Gambar 7). Berdasarkan harga koefisien determinasi (R^2) pada kurva antara $\ln C$ lawan $\ln x/m$ pada Gambar 7 tersebut, akan mengakibatkan bahwa kapasitas adsorpsi Th-232 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ akan lebih tinggi dari pada U-238 dalam sistem kompetitif. Selanjutnya melalui masing-masing persamaan garis lurus pada Gambar 7 ($y = 2,4586x + 1,0509$ untuk U-238 dan $y = 3,2956x - 2,531$ untuk Th-232) dapat disubstitusikan konsentrasi pada saat kesetimbangan (Gambar 6), selanjutnya dapat diperoleh harga masing-masing kapasitas adsorpsi Th-232 dan U-238 dalam



Gambar 6. Adsorpsi logam U-238 dan Th-232 sistem kompetitif dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$



Gambar 7. Grafik $\ln C$ lawan $\ln x/m$ untuk U-238 dan Th-232 pada sistem kompetitif



Gambar 8. Harga perbandingan kapasitas adsorpsi Th-232 dan U-238 dalam $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ dengan sistem tunggal, kompetitif dan asam humat (* data dari Muzakky dan Taftazani [6])

sistem kompetitif pada adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ masing-masing 0,91 mg/g dan 8,08 mg/g (Gambar 7). Jadi bila dibandingkan pada sistem tunggal kapasitas adsorpsi Th-232 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ dengan sistem kompetitif naik dari 2,93 mg/g menjadi 8,08 mg/g, sebaliknya untuk U-238 turun dari 3,63 mg/g menjadi 0,91 mg/g. Bagaimanapun kapasitas adsorpsi U-238 dan Th-232 pada adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-humat}$ baik dengan sistem tunggal ataupun kompetitif tetap lebih tinggi dari pada adsorben asam humat, yang masing-masing hanya berharga 0,44 mg/g dan 0,231 mg/g [6] (Gambar 8).

Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh adanya energi ikat stabilitas kompleks (ΔG) antara Th-232 dan U-238 dengan senyawa humat yang berbeda, sehingga akan mengakibatkan perbedaan harga

kapasitas adsorpsi dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humat. Semakin tinggi energi ikat stabilitas kompleks suatu logam terhadap senyawa humat (*ligand*), maka logam tersebut akan lebih terikat kuat [8,9]. Berdasarkan Samadfam [9], energi ikat stabilitas kompleks (ΔG) pada kondisi pH 4 dan kuat ion μ 0,1 untuk Th(HA) dan Th(HA)₂ masing-masing adalah $-63,56 \pm 0,006 \text{ kJ eq}^{-1}$ dan $-92,23 \pm 0,12 \text{ kJ eq}^{-1}$ sedangkan ΔG untuk $\text{UO}_2(\text{HA})$ dan $\text{UO}_2(\text{HA})_2$ masing-masing adalah $-29,2 \pm 0,1 \text{ kJ eq}^{-1}$ dan $-51,0 \pm 0,2 \text{ kJ eq}^{-1}$. Jadi dengan harga ΔG Th(HA) dan Th(HA)₂ yang lebih tinggi tersebut diperkirakan kapasitas adsorpsi Th-232 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humat dengan sistim kompetitif akan lebih tinggi dari pada U-238.

KESIMPULAN

Karakteristik gugus fungsional $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humat mirip dengan asam humat dengan terjadinya penurunan pada pita rentang (*stretch*) -OH pada $3400\text{-}3300 \text{ cm}^{-1}$, rentang C=O dari gugus COOH , aromatik C=C , atau ikatan hidrogen C=O pada pita $1725\text{-}1720 \text{ cm}^{-1}$. hasil uji kelarutan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humat ternyata hanya efektif digunakan sebagai adsorben logam U-238 dan Th-232 pada kondisi pH 1 hingga 4. Adsorpsi sistim tunggal terhadap umpan 1000 mg/L U-238 atau Th-232 dengan variasi berat adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humat $0,001 \text{ g}$ sampai dengan $0,1 \text{ g}$ didapat kesetimbangan untuk U-238 sebesar $992,15 \text{ mg/L}$ dan $980,66 \text{ mg/L}$ untuk Th-232. Melalui regresi linier yang dibuat dari kurva antara $\ln C$ lawan $\ln x/m$, dapat dihitung harga kapasitas adsorpsi U-238 dan Th-232 dalam adsorben $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -humat pada sistem tunggal masing-masing sebesar $3,63 \text{ mg/g}$ dan $2,93 \text{ mg/g}$. Melalui metoda, umpan dan adsorben yang sama pada sistem adsorpsi kompetitif terhadap U-238

dan Th-232, ternyata kapasitas adsorpsi Th-232 naik menjadi $8,08 \text{ mg/g}$, sebaliknya untuk U-238 turun menjadi $0,91 \text{ mg/g}$.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 1967, *Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination Due to Occupation Exposure*, ICRP - Publication 10, Pergamon Press., Paris.
2. Voigt, G., 1977, *Health Impacts of Large Releases of Radionuclides. Physical Transport and Chemical and Biological Processes in Agriculture Systems.*, Ciba Found.Symposium, 203., 6-13.,
3. Neumann C.M., 1998, *J. Toxicol Environ Health, B Crit.Rev.*, 1, 259-270.,
4. Warwick, P., and Read, D., 1996, *Radiochemica Acta*, 73., 11-19
5. Tombacz, E., 2000, *Colloid Polym Sci.*, 278., 337-345
6. Muzakky, and Taftazani, A., 2002, *Kapasitas Adsorpsi Asam Humat dengan U-238 dan Th-232.*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Batan-Yogyakarta
7. Sincero, A.P and Cincero, G.A., 1996, *Environmental Engineering a Design Approach.*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey., USA.
8. Tan. K. H., 1996, *Soil Sampling, Preparation, and Analysis*, Marcel Dekker, Inc, New York,
9. Samadfam. M., Niitsu. Y., Sato. S and Ohashi. H., 2001, *Radiochemica Acta.*, 73. 211-216.
10. Picolo. A., Conte. P., Spaccini. R and Chiarella. M., 2003., *Biol.Fertil.Soil.*, 37, 255-259.